

УДК[624.074.43:624.012.35](088.87)

РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ АНІЗОТРОПНИХ ОБОЛОНОК

Л.В. Гапонова¹,

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри будівельних конструкцій

О.О. Калмиків¹,

канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних конструкцій

С.С. Гребенчук²,

головний інженер

¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків

²ТОВ «Будівельник», Харків

Представлено постановку й реалізацію завдання щодо раціоналізації конструктивних параметрів залізобетонних конструктивно-анізотропних оболонок. За критерій для даної задачі обрано енергетичний принцип, згідно з яким із усього ряду можливих значень шуканих параметрів системи з постійним об'ємом матеріалу, числом зовнішніх і внутрішніх зв'язків потенційна енергія деформації (ПЕД) після перебудови досягне нижньої межі на раціональному поєднанні величин геометричних параметрів.

Ключові слова: раціоналізація, потенційна енергія деформації, конструктивних параметрів, залізобетонна анізотропна оболонка.

Постановка проблеми. Дуалізм світу зумовлює прямий пошук конструктивних рішень механічних систем, що розвиваються в напрямках наукових праць В.С. Шмуклера [1].

- створення елементів (конструкцій) з максимальною несучою здатністю і/або жорсткістю при заданій витраті матеріалів;

- створення елементів (конструкцій) з мінімальною витратою матеріалів при заданому ресурсі.

В обох випадках проблема зводиться до постановок і рішень нелінійних задач раціоналізації (оптимізації). Як відомо, ступінь складності застосовуваних методів і алгоритмів реалізації, в цьому випадку, істотно вище, ніж при перевірному (традиційному) підході. Крім того, рішення, що формуються, безпосередньо пов'язані з конкретними умовами навантаження і спирання конструктива, що локалізує сферу їх застосування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Оригінальними методами, що складають основу сучасної теорії управління параметрами конструкцій займалися такі вчені, як Н.П. Абовський [2], А.С. Городецький [3], А.В. Перельмутер [4], А.Л. Гольдененвейзер [5], С.П. Тимошенко [6], Chien Wei-Zang [7], Reissner E. [8], Shanley F. [9] і багато інших авторів.

Поняття «раціональна конструкція» вдалось дещо конкретизувати і трансформувати за допомогою цікавих ідей і досліджень Г.В. Василькова і В.С. Шмуклера. Також впровадженню у практику проектування прямих методів сприяли, з одного боку, способи трактування власного поняття «раціональне рішення», а з іншого – широке використання методу

скінченних елементів (МСЕ). Незважаючи на численні наукові праці за цим напрямком, сьогодні, на жаль, відсутні роботи з нелінійного чисельного дослідження двопоєсних анізотропних оболонок із ребрами в різних напрямках. Зважаючи на даний факт, а також з метою розширення наявної інформації на базі проведеного аналізу зроблено висновки та сформульована задача цього дослідження.

Викладення основного матеріалу. Ідеологія постановок задач прямого проектування, про що йтиметься далі, передбачає (нехай і наближено) відображення двох обставин:

- введення в якості критерію єдиної функції мети;
- введення в обмеження умови, пов'язаної з управлінням напружено-деформованим станом (НДС).

У цьому випадку, як відомо, може бути досягнуте значне спрощення постановок задач раціоналізації параметрів конструктиву. Тут передбачається, що однаковий запис функції мети відображає можливість наближеної еквівалентної заміни традиційних критеріїв (вартість, вага, обсяг і т.д.) одним, пов'язаним, при цьому, з характером і особливостями НДС. Аналогічна вимога висувається і до обмежень, що задають управління НДС.

При цьому, було визнано за доцільне для побудови еталонного рішення використовувати нові положення, засновані на енергетичних принципах [1], а саме:

- твердження про те, що для регульованих систем з постійним об'ємом матеріалу, числом зовнішніх і внутрішніх зв'язків (зовнішні параметри) під дією статичного зовнішнього навантаження - власної ваги, потенційна енергія деформації (ПЕД) після перебудови досягає нижньої межі на раціональному поєднанні величин геометричних параметрів:

$$U = \inf_{\alpha} U(\alpha^k), \quad k = 1, 2, \dots, \infty, \quad (1)$$

де U - ПЕД; k - номер варіанта порівняння; $\alpha \in M$; M - безліч допустимих значень зовнішніх геометричних параметрів.

Положення (1) може бути поширене на випадок присутності на безлічі віртуальних навантажень домінуючого. Зокрема, при компонованні тонкостінного елемента, що зазнає деформацію вигину кручення, можна мінімізувати крутний момент за рахунок проходження вектора навантаження через центр вигину, що буде відповідати виконанню (1).

- вимоги ізоенергетичності стану системи (конструкції), тобто такого, за яким:

$$e[\{\bar{x}\}] = const, \quad (2)$$

де e - щільність потенційної енергії деформацій (ЩПЕД); $\{\bar{x}\}$ - вектор внутрішніх параметрів.

Розв'язок практичних задач з критерієм (1), до певної міри, підтверджує ефективність його застосування, а також можливість регулювання не тільки геометричними, але фізико-механічними характеристиками системи [1, 10, 11].

Приймемо, в стилі [1], що під зовнішніми екстенсивними параметрами розуміються параметри, які визначають опірність системи без зміни

загального обсягу матеріалу (габарити елементів системи, координати опорних зв'язків і місць прикладання навантажень і т.п.), внутрішні інтенсивні параметри визначають топологію, обсяг, а також властивості матеріалів.

Слід також зазначити, що наслідком першого положення, крім подання (1), є наступне:

- при лавиноподібному усуненні в'язей, внаслідок появи пластичних шарнірів, аж до появи граничного стану, коли система перетворюється в механізм, ПЕД зростає і досягає верхньої межі:

$$U_u = \sup U, \quad (3)$$

де U_u - гранична величина ПЕД.

Умова (3) може бути використана при визначенні найбільш небезпечного поєднання навантажень, в разі різноманіття завантажень. Очевидно, що найбільш небезпечному завантаженню (у випадку пружного деформування) буде відповідати більша величина ПЕД;

Наслідком критерію (2) є те, що при $e = e_u$ у всіх точках конструкції досягається глобальний мінімум витрат матеріалів (1). Тут фундаментальна структуроутворююча величина e_u - ресурс, суть - міра в'язкості матеріалу або гранична щільність енергії деформування [1]. Вона визначається роботою, що витрачається на деформацію зразка аж до його руйнування, що припадає, на одиницю об'єму і вимірюваної площею індикаторної діаграми деформування матеріалу. З величиною ресурсу пов'язана дуже цінна якість конструкції - резильянс, який визначається кількістю пружної енергії, яку можна запасти в ній. У свою чергу, ізоенергетичність, породжувана (2), як раціональна форма існування штучних елементів, забезпечує найбільш прийнятний розподіл матеріалу, а також його ефективну роботу в конструкції. Застосовуючи до (2) ітераційний підхід, який базується на методі адаптивної еволюції (МАЕ), для будь-якого геометричного або фізико-механічного параметра конструкції можна записати [10]:

$$h_{i+1} = h_i [e_i e_{iu}^{-1}]^\gamma, \quad (4)$$

де h – геометричний (фізико-механічний) параметр системи; i – номер ітерації; $\gamma \in (0,1)$ - характеристика адаптивної еволюції, що відображає швидкість збіжності.

Введені положення дозволяють не тільки позначити еталонне рішення, але і, що є дуже важливим, побудувати енергетичний портрет конструкції. Під енергетичним портретом конструкції розуміється 3D-побудова і відображення поля щільності енергії деформації з одночасним визначенням ПЕД. Дана обставина, поряд з визначенням раціональної топології системи (не тільки форма, а й зміст), зумовлює встановлення граничного стану як для структурних елементів конструкції (наприклад, скінченних елементів) так і для системи в цілому. Крім того, за умови збіжності процедури (4), відбувається відсів ненавантажених (паразитуючих) елементів системи. Відзначимо, що крім мінімізації витрат матеріалів критерії (1), (2) можуть бути використані для наближеної оцінки деяких важливих механічних характеристик.

Реалізація підходу передбачає побудову взаємозв'язку між величиною енергії деформації системи і однією або групою геометричних параметрів.

Постановка подібної задачі в чисельному вигляді можлива при застосуванні обчислювальних програмних комплексів, однак, операція передбачає побудову значної кількості моделей, що до певної міри ускладнює процес.

Представлена постановка і реалізація задачі раціоналізації конструктивних параметрів запропонованих залізобетонних оболонок. В якості критерію для даної задачі приймається енергетичний принцип, згідно з яким передбачається, що з усієї безлічі можливих значень шуканих параметрів системи з постійним об'ємом матеріалу, числом зовнішніх і внутрішніх в'язей, потенціальна енергія деформації (ПЕД) після перебудови досягне нижньої межі на раціональному поєднанні величин геометричних параметрів, що описують систему.

Реалізація підходу, у даному випадку, передбачає побудову взаємозв'язку між величиною енергії деформації системи і одним або групою геометричних параметрів (5).

В роботі реалізовані чисельні методи розв'язку поставленої задачі на прикладі циліндричної оболонки, що має внутрішні порожнини прямокутної в плані форми (рис. 1).

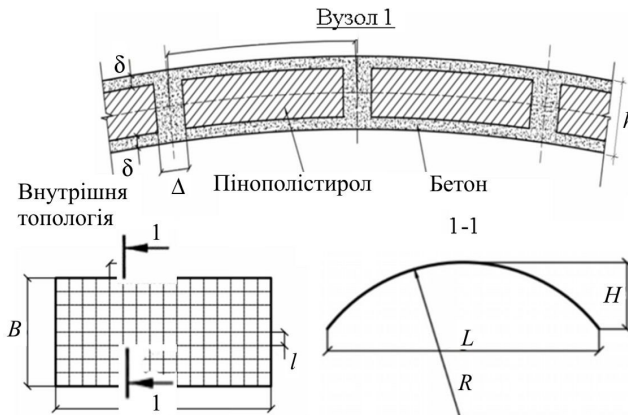


Рис. 1. Розглянута оболонка

У розгляд вводиться вектор керуючих параметрів даної системи:

$$\{x\}^T = \{H, B, V, R, L, l, q, \delta, \Delta, h\}, \quad (5)$$

де H – стріла підйому; B – довжина оболонки; V – об'єм матеріалу; R – радіус кривизни; L – проліт оболонки; l – крок ребер; q – зовнішнє навантаження; δ – товщина обшивок; Δ – товщина ребер; h – висота перерізу оболонки.

При цьому параметри H, B, R, L, q – позиціонуються як зовнішні, а параметри l, δ, Δ, h – як внутрішні.

За інструментарій для вирішення поставленого завдання використовувалась зв'язка програмних продуктів компанії Autodesk. Основоположним тут є скрипт, розроблений у середовищі візуального програмування Dymato, який дозволяє автоматично формувати геометрію

оболонки шляхом задавання всіх необхідних параметрів із числа $\{x\}$. Запропонована процедура дозволяє в автоматичному режимі вибудовувати взаємозв'язок між ПЕД системи і будь-яким геометричним параметром, що її описує. Для ілюстрації розглянуто приклади пошуку зовнішніх і внутрішніх раціональних параметрів оболонки. При аналізі зовнішніх параметрів як змінний прийнято стрілу підйому $H \in (H [0; L/2])$, інші параметри, що описують геометрію системи, прийнято такі: $B=9000$ мм; $L=18000$ мм; $h=300$ мм; $\Delta=100$ мм; $l=1000$ мм. В якості навантаження прийнято власну вагу, опираючись на призначення шарнірно нерухомим за двома поздовжніми ребрами, матеріал – бетон C25/30. У загальному вигляді процедура визначення НДС оболонки представлена алгоритмом (рис. 2).

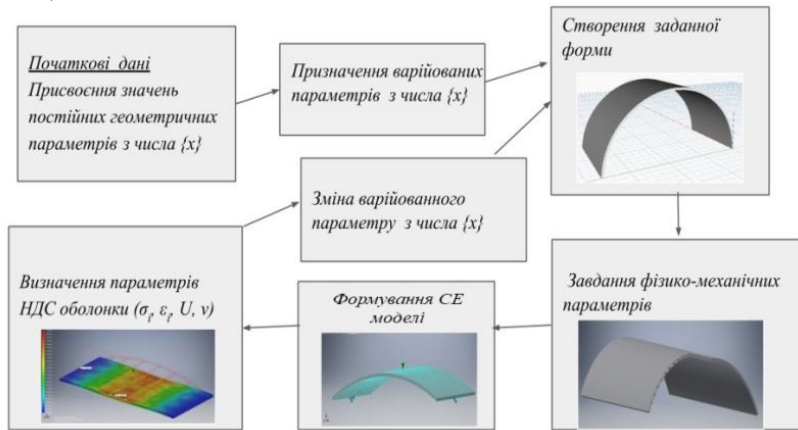


Рис. 2. Блок-схема алгоритму обчислення НДС системи

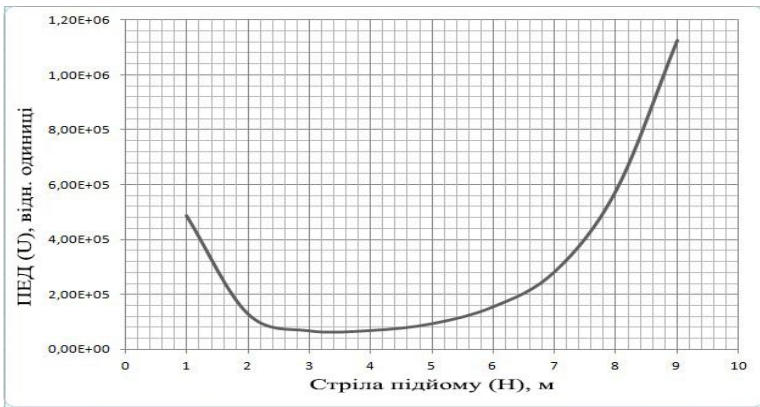
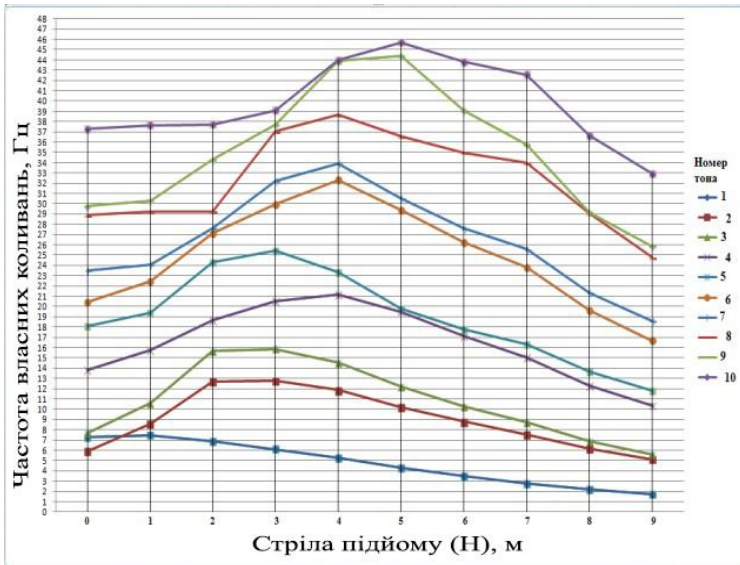
Покроково змінюючи параметр H , визначено його взаємозв'язок із величиною ПЕД системи, при цьому в усіх випадках об'єм матеріалу оболонки досі був незмінний – його сталість забезпечувалась шляхом підбору відповідного значення товщини обшивки δ . Результати розрахунку наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати розрахунку

Стріла підйому $H, м$	Об'єм матеріалу $V, м^3$	Радіус кривизни R	Товщина обшивок $\Delta, мм$	Довжина дуги, м	ПЕД системи $U, відн. од.$
0	22,89	∞	50,60	18,00	5,75E+06
1	22,89	41,00	50,00	18,14	4,87E+05
2	22,89	21,25	47,30	18,58	1,30E+05
3	22,89	15,00	45,0	19,30	7,57E+04
4	22,89	12,12	40,70	20,28	6,93E+04
5	22,89	10,60	35,70	21,50	9,38E+04
6	22,89	9,75	31,50	22,93	1,55E+05
7	22,89	9,28	27,10	24,55	2,83E+05
8	22,89	9,06	22,40	26,34	5,77E+05
9	22,89	9,00	18,70	28,27	1,12E+06

На підставі отриманих даних побудовано графік залежності ПЕД від стріли підйому H (рис. 3), який уявляє собою унімодальну функцію. Визначено, що для заданих умов при $H \approx 3,8$ м ПЕД досягає нижньої межі. Отримані результати верифіковані шляхом аналізу частот власних коливань системи для всіх значень H та оцінки максимальної несучої здатності (q_{\max}) оболонки. З графіків (рис. 4.), видно, що 7 із 10 тонів власних коливань приймають максимальні значення при значенні H близькому до раціонального. З умови досягнення еквівалентних напружень системи (σ_e) межі міцності матеріалу визначена q_{\max} для оптимального значення H і значень на 1 м більше і менше від раціонального (4,8 і 2,8 м відповідно) (рис.5, 6, 7). Так при $H = 3,8$ м $q_{\max} = 38,45$ кН/м²; при $H = 4,8$ м $q_{\max} = 35,15$ кН/м²; при $H = 2,8$ м $q_{\max} = 30,26$ кН/м².

Рис. 3. Взаємозв'язок стріли підйому H і ПЕДРис. 4. Взаємозв'язок стріли підйому H і частот власних коливань

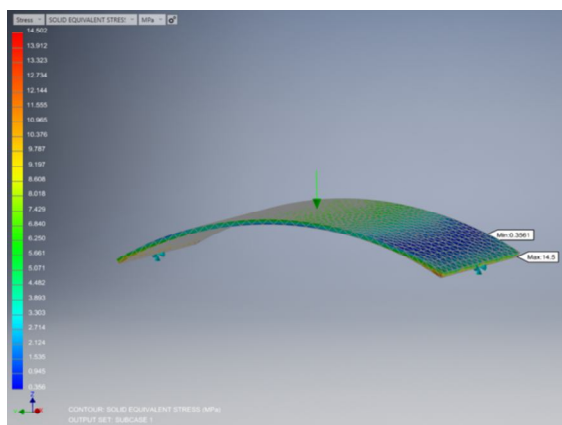


Рис. 5. Щільність потенційної енергії оболонки прогоном 9000 мм з висотою стріли 2800 мм від максимального навантаження

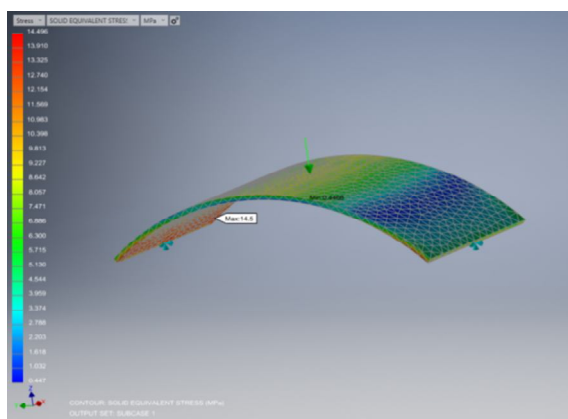


Рис. 6. Щільність потенційної енергії оболонки прогоном 9000 мм з висотою стріли 3800 мм від максимального навантаження

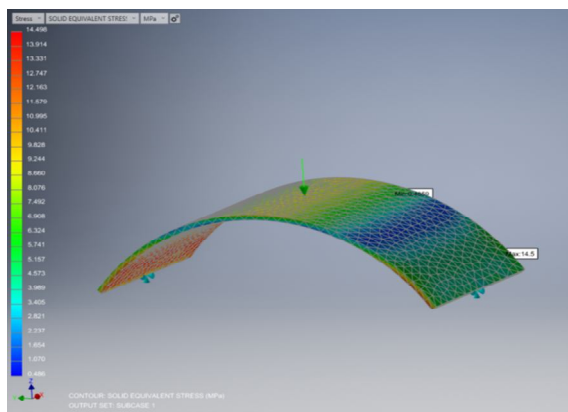


Рис. 7. Щільність потенційної енергії оболонки прогоном 9000 мм з висотою стріли 4800 мм від максимального навантаження

Висновки. Обґрунтовано, що при застосуванні в якості критерію раціоналізації мінімального значення потенціальної енергії деформації, зовнішні параметри оболонки (стріла підйому, крок ребер, тощо), що визначені, забезпечують максимальну несучу здатність конструкції, максимізацію частоти основного тону власних коливань та мінімальні прогини системи.

Визначено, що для розглянутих конкретних умов при значенні стріли підйому $H \approx 3,8$ м потенціальна енергія деформації досягає нижньої межі. Отримані результати верифіковані шляхом аналізу частот власних коливань системи для всіх значень H та оцінки максимальної несучої здатності q_{max} оболонки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шмуклер В.С. Каркасные системы блегченного типа // В.С. Шмуклер, Ю.А. Климов, Н.П. Буряк. Харьков: Золотыестраницы, 2008, 336 с.
2. Абовский Н.П., Андреев Н.П., Деруга А.П. Вариационные принципы теории упругости и теории оболочек / Подред. Абовского Н.П. Наука, 1978. - 228 с.
3. Городецкий А.С., Гордон Л.А., Готлид А.А. Статический расчет бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений. - М.: Энергоиздат, 1982. - 240с.
4. Перельмутер А.В. Управление поведением несущих конструкций. - 2011. - 184с.
5. Гольдвейзер А.Л. Теория упругих тонких оболочек. - 1976. - 512 с.
6. Тимошенко С.П. Пластины и оболочки. - М.: ЮГИЗ, 1948. - 460 с.
7. Chen W.T. A hyperboloidal Notchin a transversely isotropic material under pure shear // Journal of Elasticity. - 1972. - Т. 2. - №. 2. - С. 113-122.
8. Reissner E. On a Variational Theorem in Elasticity.- J. Math. and Phys., 1950, vol.29, № 2.
9. Shanley F. Weight-Strength Analysis of Aircraft Structures. - N.York, McGraw-Hill, 1952.
10. Шмуклер В.С. Новые энергетические принципы рационализации конструкций / В.С. Шмуклер // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. - 2017. - Вип. 167. - С. 54-69.
11. Kalmykov O. Use of information technologies for energetic portrait construction of cylindrical reinforced concrete shells / Oleg Kalmykov, Ludmila Gaponova, Petro Reznikand, SergeyGrebenchuk // 6th International Scientific Conference "Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings MATEC WebConf. Volume 116, 2017 " (Transbud-2017). 10 July 2017.
12. Gaponova L.V. Stress and strain behavior of reinforced concrete anisotropic shell / L.V. Gaponova, S.S. Grebenschuk // Academic Journal. Series: Industrial machine building, Civil Engineering / Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University – 1 (48) 2017. – С. 108-120.

REFERENCES

1. Shmukler V.S. Karkasnyye sistemy oblegchennogo tipa (Frame-typesystemsofthelighttype) // VS.Shmukler, Yu.A. Klimov, N.P. Beet. Kharkiv: GoldenPages, 2008, 336 pp.
2. Abovsky N.P., Andreev N.P., Deruga A.P. Variatsionnyye printsipy teorii uprugosti i teorii obolochek (Variational Principles of the Theory of Elasticity and Shell Theory) / Under the Rev. A. Abovskogo NP: Nauka, 1978.-228 p.
3. Gorodetsky A.S., Gordon L.A., Gottlide A.A. Statcheskiy raschet betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksiy gidrotekhnicheskikh sooruzheniy (Static calculation of concrete and reinforced concrete structures of hydraulic engineering structures). - M.: Energoizdat, 1982.-240s.
4. Perelmutter AV. Upravleniye povedeniyem nesushchikh konstruksiy (Control of the behavior of bearing structures).- 2011.- 184p.
5. Goldveiser A.L. Teoriya uprugikh tonkikh obolochek (The theory of elastic thin shells). - 1976 - 512 pp.
6. Tymoshenko S.P. Plastiny i obolochki (Plates and shells). - Moscow: YUGIZ, 1948. - 460 pp.
7. Chen W.T. A Hyperboloidal Notchin a Transversely IsotropicMaterial under a Clean Shear // JournalofElasticity. - 1972. - Т. 2. - No. 2. - P. 113-122.

8. *Reissner E.*, Reissner E. On a Variational Theorem in Elasticity. J. Math. And Phys. - 1950, p. 29, No. 2.
9. Shanley F. WeightStrengthAnalysisofAircraftStructures. N.York, McGraw-Hill, 1952.
10. *Shmukler V.S.* Novyye energeticheskiye printsiy racionalizatsii konstruktivnykh (New Energy Principles for the Rationalization of Structures) / V.S. Shmukler // Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport. - 2017 - Voip. 167. - P. 54-69.
11. *Kalmykov O.* Use of information technologies for energetic portrait construction of cylindrical reinforced concrete shells / Oleg Kalmykov, Ludmila Gaponova, Petr Reznik and Sergey Grebenchuk // 6th International Scientific Conference "Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings MATEC WebConf. Volume 116, 2017 "(Transbud-2017) on 10 July 2017.
12. *Gaponova L.V.* Stress and strain behavior of reinforced concrete anisotropic shell / L.V. Gaponova, S.S. Grebenchuk // Academic Journal. Series: Industrial machine building, Civil Engineering / Poltava National Technical University Yuri Kondratyuk. - 1 (48) 2017. - C.108-120.

Стаття надійшла 21.03.2018

Gaponova L., Kalmykov O., Grebenchuk S.

RATIONALIZATION OF THE PARAMETERS OF REINFORCED-CONCRETE ANISOTROPIC SHELLS

The formulation and realization of the task of rationalization of the structural parameters of the proposed reinforced concrete shells is presented. As a criterion for this task, an energy principle is adopted, according to which it is assumed that from the whole set of possible values of the desired parameters of the system with a constant volume of material, the number of external and internal connections, the potential energy of deformation after the reorganization will reach the lower limit on the rational combination of the values of the geometric parameters describing the system.

The proposed procedure allows, in the automatic mode, to construct the relationship between the DED system and any geometric parameter that describes it. For illustration, examples of searching for external and internal rational shell parameters are considered. In the analysis of external parameters as an alternating one, the lifting arm ($H [0; L/2]$), other parameters describing the geometry of the system, are taken: $B = 9000$ mm; $L = 18000$ mm; $h = 300$ mm, $\Delta = 100$ mm; $l = 1000$ mm. As the load is taken its own weight, the bolt is designed to be hingedly fixed for two longitudinal ribs, the material is concrete C25 / 30.

Implementation of the approach, in this case, involves the construction of the relationship between the magnitude of the deformation energy of the system and one or group of geometric parameters. The energy principle is taken as a criterion for this task, according to which it is believed that out of numerous possible values of the searched parameters of the system with the constant amount of material, number of external and internal connections, the strain potential energy (SPE) after the reconstruction will reach the lower limit on the rational connection of the geometrical parameters describing the system. In this case, the approach realization presupposes the construction of interconnection between the system energy deformation value and one or group of the geometrical parameters. The suggested procedure allows automatic establishment of the connection between the system SPE and any geometrical parameters which describes it. The obtained results of the external parameters are verified through the analysis of the frequencies of the systems natural vibration frequencies for all values of rise H and maximum shell bearing capacity (q_{max}). It was determined that for the conditions at the camber of arch $H \approx 3,8$ m SPE reaches the lower limit.

Key words: rationalization, potential energy of deformation, structural parameters, reinforced concrete anisotropic membrane.

Гапонова Л.В., Калмыков О.О., Гребенчук С.С.

РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ АНИЗОТРОПНЫХ ОБОЛОЧЕК

Представлены постановка и реализация задачи по рационализации конструктивных параметров железобетонных конструктивно-анизотропных оболочек. Критерием для данной задачи избран энергетический принцип, согласно которому со всего ряда возможных значений искомого параметров системы с постоянным объемом материала, числом внешних и внутренних связей потенциальная энергия деформации (ПЭД) после перестройки достигнет нижней границы на рациональном сочетании величин геометрических параметров.

Ключевые слова: рационализация, потенциальная энергия деформации, конструктивные параметры, железобетонная анизотропная оболочка.

УДК[624.074.43:624.012.35](088.87)

Гапонова Л.В., Калмыков О.О., Гребенчук С.С. Рационалізація параметрів залізобетонних анізотропних оболонок // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2018. – Вип. 100. – С. 181-190.

Представлено постановку і реалізацію задачі з раціоналізації конструктивних параметрів залізобетонних конструктивно-анізотропних оболонок.

Табл. 1. Іл. 7. Бібліогр. 12 назв.

Gaponova L.V., Kalmykov O.A., Grebenchuk S.S. Rationalization of the parameters of reinforced concrete anisotropic membranes // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles – Kyiv: KNUBA, 2018. – Issue 100. – P. 181-190. – Ukr.

The formulation and realization of the problem of rationalization of structural parameters of reinforced concrete structural anisotropic membranes is presented.

Tables 1. Fig. 7. Ref. 12.

Гапонова Л.В., Калмыков О.А., Гребенчук С.С. Рационализация параметров железобетонных анизотропных оболочек // «Сопротивление материалов и теория сооружений». - 2018. - Вип. 100. - С. 181-190.

Представлена постановка и реализация задачи по рационализации конструктивных параметров железобетонных конструктивно-анизотропных оболочек.

Табл. 1. Ил. 7. Библиогр. 12 назв.

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада):

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова Гапонова Людмила Вікторівна.

Адреса робоча: 61002, Україна, м. Харків, вул. Маршала Бажанова, 17.

Мобільний тел.:+38(066)-366-00-57

E-mail: gaplyudmila@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6038-2624>

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада):

кандидат технічних наук, декан факультету по роботі з іноземними студентами, Харківського національного університету міського господарства ім. О.М. Бекетова Калмыков Олег Олександрович.

Адреса робоча: 61002, Україна, м. Харків, вул. Маршала Бажанова, 17.

Робочий тел.:+38(057)-706-15-48

Мобільний телефон:+38(063)-104-55-53

E-mail: olegkalmikov010@gmail.com

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада):

головний інженер ТОВ «Будівельник» Гребенчук Сергій Сергійович

Адреса робоча:61002, Україна, м. Харків, вул. Мироносицька, 54.

Мобільний тел.: (050)301-25-29;

E-mail: a.mania0502@icloud.com